

РОЗВИТОК ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ ПОКРИТТЯМ (PMS)

DEVELOPMENT AND EFFICIENCY OF PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS (PMS)



*Мороз Тарас Михайлович, начальник Центру випробувань, ДП «Дорожній науково-технічний центр», аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет
e-mail: carmen_17@ukr.net*

<https://orcid.org/0000-0001-6730-3004>

Анотація: В статті розглянуто важливий аспект сучасного транспортного управління – розвиток систем управління дорожнім покриттям (PMS). Проаналізовано еволюцію PMS, ключові компоненти, їх роль у забезпеченні якості та тривалості функціонування дорожнього покриття, а також найновіші тенденції та інновації в цій галузі. Висвітлено перспективи розвитку PMS в майбутньому та їх вплив на забезпечення належного утримання дорожньої мережі.

Наукова новизна та практична значущість. Виконано обґрунтований та детальний аналіз історії розвитку систем управління дорожнім покриттям (PMS). Основним аспектом наукової новизни є ретельне вивчення еволюції цих систем на міжнародному рівні, що дозволяє ідентифікувати ключові тенденції та періоди їх розвитку. Досліджено міжнародний досвід країн-користувачів цими системами.

Ключові слова: системи управління покриттям, експлуатація автомобільних доріг, дорожня мережа, транспортно-експлуатаційні показники, стан доріг

Вступ

Сучасна транспортна інфраструктура є ключовим елементом розвитку суспільства, а стан дорожнього покриття визначає ефективність та безпеку дорожньої мережі. У цьому контексті системи управління дорожнім покриттям (PMS) стають необхідним інструментом для ефективного управління та забезпечення належної експлуатації цієї мережі.

Таким чином, це дослідження присвячене вивченню історії розвитку PMS, а також їх транспортно-експлуатаційної ефективності. За останні десятиліття суттєві зміни в технологіях, методологіях та стратегіях управління стали визначальними для підтримки інфраструктури на оптимальному рівні.

З метою врівноваженого підходу до цього питання, у статті розглядається історичний розвиток PMS на різних етапах, аналізуючи досягнення та виклики. Особлива увага приділяється вивченню досвіду країн-користувачів систем PMS.

Метою даного дослідження є ретельне вивчення та аналіз історії розвитку систем управління дорожнім покриттям (PMS), зосереджуючись на їхній транспортно-експлуатаційній ефективності.

Крім того, стаття покликана дослідити різноманітні стратегії управління дорожнім покриттям та їх вплив на якість та тривалість експлуатації дорожніх магістралей.

Основна частина

Еволюція PMS

Системи управління дорожнім покриттям (PMS) були задумані наприкінці 1960-х років у відповідь на перехід від режиму проектування та будівництва мережі доріг до стратегії її ремонту та експлуатації.

Після формування національної мережі автомагістралей основна функція дорожніх агентств стала полягати у збереженні значних коштів, інвестованих в дорожню інфраструктуру. В умовах обмеженого фінансування, підвищення транспортних навантажень та інтенсивності руху, а також в ході природних процесів старіння дорожнього покриття протяжність ділянок, що потребували ремонту, постійно зростала. За цей час було пройдено шлях від простих систем інспекцій та ручного моніторингу до систематичного технічного нагляду, руйнівного та неруйнівного способів забору показників для формування баз даних про стан доріг, а також від аналогових до цифрових технологій при їх обробці.

Перша система управління станом покриття була розроблена наприкінці 1960-х років американськими інженерами К. С. Пістером, Фр. Фінном, Р. Хаасом, Ст. Хадсоном, Е. Скрівенером та ін. [4]. Першим досвідом було впровадження цих систем в штатах Арізона, Канзас, Вашингтон, Техас. Вже на той час для повноцінного функціонування системи та накопичування даних застосовувались комп'ютери-мейнфрейми та системи відстежування змінних даних (CDC). Це відкрило нові можливості для автоматизації процесів управління. Перші системи управління дорожнім покриттям базувались на обчислювальних машинах, які використовувались для обробки даних та аналізу стану доріг (рис. 1).

У цей період з'явилися нові методи інженерного обстеження, які дозволяли більш точно визначати стан дорожнього покриття. Інженери використовували спеціалізоване обладнання для вимірювання товщини асфальтобетонного покриття, виявлення тріщин та інших дефектів.

1960-і роки можна вважати періодом формування інтересу до питань управління дорожнім покриттям, проте справжній розквіт технологій та систем PMS відбувся в подальших десятиліттях

У 70-х роках виникла ідея використання геоінформаційних систем (ГІС) у дорожньому господарстві. ГІС дозволяли ефективно збирати, аналізувати та візуалізувати географічні дані, включаючи інформацію про стан доріг.

У 1977 році в штаті Юта під керівництвом Дейла Петерсона був опублікований документ «Хороші дороги коштують менше», в якому була висвітлена ідея «плати мені зараз» або «плати мені пізніше» щодо вибору оптимального часу для виконання ремонту магістральних доріг [9]. Концепція таких систем полягала в тому, що вони давали змогу суттєво заощаджувати кошти в довгостроковій перспективі.

У кінці 70-х років вже існувало декілька систем управління дорожнім покриттям (PMS). Вони включали в себе базу даних із зібраними характеристиками доріг, методи прогнозування стану та стратегії технічного обслуговування. Зародження цих систем сприяло формуванню стандартів та методологій для управління дорожнім господарством. Різні дорожні агентства та організації розробляли свої підходи до оцінки і планування робіт з утримання доріг.



Рисунок 1 – Машина для обробки даних IBM 650 [12]

Figure 1 – IBM 650 Data Processing Machine [12]

На початковій стадії поширення і розвитку систем PMS давались в знаки такі проблеми, як відсутність вихідних даних для обробки, погане зберігання даних, низька потужність комп'ютерів та бюрократична складова на рівні урядових посадовців щодо масового впровадження цих систем. Ті невеликі дані, які було зібрано, доводилося зберігати послідовно на барабанах «стрічка-до-стрічки», оскільки довільний доступ для PMS не був доступний. Відсутність централізованого збору даних призводила до того, що кожне місцеве агентство доріг в функціонувало імпровізовано та ізольовано, не маючи комунікації з іншими штатами. Також мали місце сумніви щодо надійності моделей прогнозування, необхідність витратити ресурси для розробки системи, її підтримку та оновлення програм, а також потреба в кваліфікованому персоналі.

Проте, найважливіший чинник був дуже простим – більшість інженерів дуже скептично ставились до ідеї, що така система запрацює. Це пов'язано з тим, що освітні програми інженерів дорожників акцентують увагу на будівельних дисциплінах, в той час як робота з PMS вимагає знань статистики, моделювання, програмування, економіки, та управління базами даних, тому зрозумілим стає опір мультидисциплінарним системам, що виходять за межі нашої підготовки, досвіду та розуміння.

Багато країн розпочали активно інвестувати у покращення інфраструктури дорожнього господарства, що створювало підґрунтя для розвитку та впровадження PMS. Державні програми та фінансові ініціативи сприяли впровадженню сучасних підходів до управління дорожнім покриттям.

У цей період розвиток PMS спрямовувався на те, щоб допомагати дорожнім менеджерам ефективно управляти та зберігати дорожнє покриття, використовуючи передові методи та технології.

У 80-х роках системи управління дорожнім покриттям (PMS) продовжили свій розвиток, стаючи більш технологічно вдосконаленими і враховуючи нові можливості та виклики. Ось деякі ключові аспекти розвитку PMS у цей період:

Вдосконалення обчислювальної техніки: Протягом 80-х років комп'ютери стали потужнішими та більш доступними. Це дозволило розширювати можливості PMS у відношенні обробки даних, моделювання та прогнозування стану дорожнього покриття.

Зростання популярності ГІС: Геоінформаційні системи (ГІС) стали все більш важливим елементом в розвитку PMS. Вони надавали зручний і ефективний спосіб аналізу та візуалізації географічних даних, що допомагало в управлінні дорожньою інфраструктурою.

Збільшення кількості дорожніх досліджень: У 80-х роках інженери та дослідники активно проводили дослідження, спрямовані на вивчення та вдосконалення різних аспектів дорожнього покриття. Це дозволило вдосконалювати методи вимірювання стану доріг і розробляти нові підходи до їх управління.

Використання статистичних методів та математичних моделей стало більш поширеним для прогнозування стану дорожнього покриття. Це допомагало покращувати точність прогнозувань і планування технічного обслуговування.

Експерименти зі сенсорами та технологією збору даних: Розвивалася технологія для використання різноманітних сенсорів та пристроїв для автоматизованого збору даних про стан доріг. Це дозволяло отримувати більше об'єктивної інформації про його поточний стан.

Стандартизація та нормативні документи: У 80-х роках в багатьох країнах почали формуватися стандарти та нормативні документи, які визначали вимоги до систем управління дорожнім покриттям. Це сприяло стандартизації підходів і обміну інформацією між різними дорожніми агентствами.

У цей період розвитку PMS ключовим був поєднаний вплив росту обчислювальних можливостей, розвитку ГІС та посилення досліджень у галузі дорожньої інфраструктури. Це створило фундамент для подальших технологічних та методологічних інновацій у галузі управління дорожнім покриттям.

У 90-х роках системи управління дорожнім покриттям (PMS) продовжили свій розвиток, вдосконалюючись як технологічно, так і методологічно. Важливо враховувати, що цей період також відзначався широким впровадженням інформаційних технологій та підвищенням інтересу до сталого розвитку. Ось кілька ключових аспектів розвитку PMS у 90-х роках:

Глобалізація інформаційних технологій: У 90-х роках спостерігалася активна глобалізація інформаційних технологій. З'явилися більш потужні та доступні комп'ютери, що дозволили значно розширити функціональність PMS і підвищити швидкість обробки даних.

Електронні карти та ГІС: Зросла популярність використання електронних карт та геоінформаційних систем (ГІС) в PMS. Це дозволяло зручно відображати і аналізувати дані про стан доріг та їх управління на картографічних платформах.

Вдосконалення технік діагностики: У 90-х роках розвивалися більш точні засоби діагностування стану дорожнього покриття. З'явилися нові методи вимірювання, які дозволяли збирати більше об'єктивних даних про фактичний стан доріг.

Активний розвиток баз даних: Збільшилося використання баз даних для зберігання та обробки інформації про дорожнє покриття. Це дозволяло ефективно керувати великим обсягом даних та швидко звертатися до необхідної інформації.

Фокус на сталий розвиток: У зв'язку з ростом уваги до сталого розвитку і екологічних аспектів, більше уваги приділялося розробці технологій та стратегій, які дозволяли максимально зменшити вплив дорожнього будівництва та управління на навколишнє середовище.

Інтеграція з іншими інформаційними системами: У 90-х роках зросла інтеграція PMS з іншими інформаційними системами, такими як системи транспортного управління та системи безпеки дорожнього руху.

Створення стандартів та методологій: В цей період в багатьох країнах активно розроблялися стандарти та методології управління дорожнім покриттям. Це сприяло стандартизації та впровадженню єдиної методології оцінки та управління дорогами.

Узагальнено, 90-ті роки відзначалися активним впровадженням інформаційних технологій та стрімким розвитком PMS, що враховувало різноманітні виклики та технічні можливості того часу.

У 2000-х роках системи управління дорожнім покриттям (PMS) продовжували активно розвиватися та вдосконалюватися відповідно до нових технологічних можливостей та вимог сучасності. Деякі ключові аспекти розвитку PMS у цей період включають:

Електронна мобільність і дистанційний доступ: З поширенням смартфонів та планшетів почалося активне впровадження мобільних додатків та платформ для збору та обробки даних про стан доріг. Інженери та інспектори отримали змогу працювати на місці події і миттєво вносити інформацію до систем PMS.

Використання сучасних технологій сенсорів: Зростання доступності та дешевизна сучасних сенсорів дозволили ефективно збирати дані про стан доріг у режимі реального часу. Системи PMS почали використовувати дані з різних джерел, включаючи датчики на дорожніх транспортних засобах.

Інтерактивні ГІС та візуалізація даних: З'явилися більш інтерактивні інтерфейси ГІС для візуалізації даних, що сприяло кращому розумінню стану доріг та прийняттю більш обґрунтованих рішень.

Фокус на аналіз даних та бізнес-інтелект: Розвивалися методи аналізу даних, включаючи використання бізнес-інтелекту (BI), що дозволяло ефективніше прогнозувати стан доріг та планувати обслуговування.

Інтеграція з іншими транспортними системами: У цей період зросла інтеграція PMS з іншими транспортними системами, такими як системи управління транспортним потоком та системи безпеки дорожнього руху.

Вдосконалення моделей прогнозування: З'явилися більш складні математичні моделі та алгоритми прогнозування для оцінки майбутнього стану доріг на основі зібраних даних.

Підвищення кількості екологічних та сталих рішень: З початком XXI століття зросла увага до екологічних аспектів управління дорожньою інфраструктурою, і системи PMS почали враховувати ефективність різних матеріалів та технік для зменшення впливу на навколишнє середовище.

Цей період відзначався загальним зростанням ефективності систем PMS за рахунок нових технологій, даних у реальному часі та покращених методів аналізу, що сприяло більш ефективному та сталому управлінню дорожніми системами.

У 2010-х роках системи управління дорожнім покриттям (PMS) продовжили свій розвиток, враховуючи сучасні технологічні тенденції та вимоги сучасного суспільства. Основні напрямки розвитку PMS у цей період включають:

Інтернет речей (IoT) та збільшення кількості сенсорів: Зростання кількості підключених пристроїв та розширення мережі Інтернету речей дозволили активно використовувати сучасні сенсори для збору даних про стан доріг. Датчики вбудовані у дорожнє покриття, транспортні засоби та інші інфраструктурні елементи.

Аналіз великих даних (Big Data): З великою кількістю даних, що стали доступні для PMS, зросла важливість аналізу великих обсягів інформації. Технології аналізу великих даних дозволяють ефективно використовувати цю інформацію для прийняття рішень.

Мобільні додатки та платформи: Виникнення різноманітних мобільних додатків та онлайн-платформ спростило взаємодію з інформацією PMS, яка тепер може бути легко доступна для різних зацікавлених сторін.

Розширена візуалізація та геоінформаційні технології: Сучасні інтерфейси ГІС дозволяють візуалізувати дані у більш доступний та зрозумілий спосіб. Це сприяє кращому розумінню стану доріг і спрощує прийняття рішень.

Фокус на ефективність та сталість: У зв'язку із зростанням екологічної та сталої орієнтації, PMS у цей період акцентує увагу на застосуванні екологічно чистих матеріалів та методів реконструкції доріг.

Станом на сьогодні системи PMS дуже стрімко розвиваються і функціонують в багатьох країнах світу. Вони можуть включати в себе різні методи, технології та стратегії для моніторингу та підтримки якості доріг. Нижче наведено кілька загальних підходів та прикладів:

Візуальні огляди: Зазвичай використовуються інспектори, які періодично перевіряють дороги на наявність дефектів.

Геодезичні та лазерні технології: Використовуються для точного вимірювання товщини дорожнього покриття та виявлення деформацій.

Сенсорні технології: вбудовані в покриття датчики тиску, акселерометри, які моніторять стан покриття під час руху транспортних засобів та передають дані для аналізу в базу даних.

Системи GPS: Використовуються для відстеження руху транспорту та визначення місцезнаходження проблемних ділянок.

Безпілотні літальні апарати: Дрони можуть використовуватися для огляду доріг з висоти, що дозволяє швидко виявляти проблеми.

Аналіз даних: Різноманітні датчики, розташовані на дорогах або в транспортних засобах. Використовується аналітика для обробки великих обсягів даних, щоб прогнозувати та управляти ремонтними роботами. Використовуються системи геоінформаційних технологій для створення карт та визначення пріоритетів для ремонтних робіт.

Мобільні додатки: Інформування громадськості та водіїв про стан доріг та взаємодія з ними.

Системи передбачення: Використовують аналітику та алгоритми для передбачення майбутніх проблем та розробки стратегій їхнього запобігання.

Різні країни можуть використовувати різні комбінації цих технологій та підходів в залежності від їхніх технічних можливостей, бюджетів та інфраструктурних потреб.

Системи PMS в різних країнах

Німеччина

У Німеччині моніторинг та оцінка стану доріг (німецькою: Zustandserfassung und -bewertung, ZEB) - це визначений процес, який регулярно виконується більше 25 років за дорученням Федерального міністерства цифрових та транспортних технологій на мережі федеральних магістральних протяжністю 51 000 км, з них 13 000 км - це федеральні автостради, а 38 000 км - федеральні шосе. Оскільки здійснення моніторингу на такій щільній мережі доріг потребує значних ресурсів, цей обсяг розподілений впродовж 4-річного циклу в межах процесу ZEB. Таким чином близько чверті федеральної магістральної дорожньої мережі реєструється щорічно, а обсяги діагностування рівномірно розподіляються між федеральними землями (рис. 2). У рамках цього процесу визначаються певні вимоги до методів вимірювань, застосовуються стандартизовані методології обробки даних, а також механізми контролю якості.

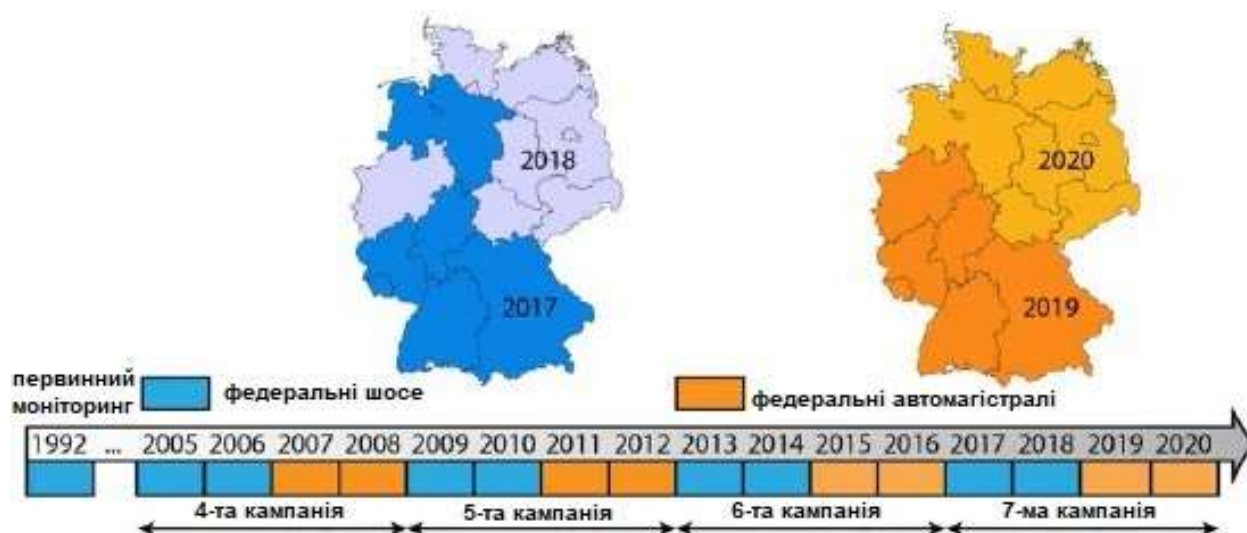


Рисунок 2 – Вимірювання на федеральних автострадах і федеральних шосе позначено синім і помаранчевим кольорами відповідно. Для кожної кампанії показана послідовність вимірювань і області на прикладних картах [2]

Figure 2 – Measurements on federal highways and federal roads are indicated by blue and orange colors, respectively. The sequence of measurements and areas are shown for each campaign on the relevant maps [2]

Кампанії вимірювань в рамках процесу ZEB регулярно проводяться з 1992 року. У 2015 році був введений переглянутий розрахунок показників стану, про який буде описано пізніше. Раніше зареєстровані дані були ретроспективно конвертовані назад до 2005 року. Таким чином, розвиток стану доріг при тих самих умовах може бути проаналізований за останні 16 років.

Основна мета процесу ZEB - визначення стану покриття шляхом визначення транспортно-експлуатаційних характеристик поверхні дороги, такі як поздовжня і поперечна рівність, зчеплення та пошкодження покриття (тріщини, вибоїни). В табл. 1 наведений перелік основних показників, що визначаються під час моніторингу та слугують вихідними даними для системи ZEB.

Таблиця 1 – Відповідні властивості покриття згідно з [9]

Table 1 – The corresponding properties of the coating according to [9]

Характерна група	Атрибут	Опис	Абревіатура
Рівність, поздовжній профіль	Загальна нерівність	Міра нерівномірності, спектральна щільність висота нерівностей Φ_h , см ³	AUN
Рівність, поперечний профіль	Глибина колії	Максимум середнього значення глибини правої і лівої колії, мм	MSPT
		Максимум із середніх значень умовної глибини води зліва і справа колії, мм	MSPH
Шорсткість	Зчеплення з покриттям	Коефіцієнт бічного тертя за швидкості 40 км/год, 60 км /год, 80 км/год	GRI_40 GRI_60 GRI_80
Характер поверхні асфальтобетонного покриття	Тріщини	Площа ділянки, вражена тріщинами, %	RISS
	Залишкове пошкодження	Площа ділянок без тріщин, але з вибоїнами чи викришуванням	RSFA
Характер поверхні цементобетонного покриття	Поздовжні та поперечні тріщини	Середня довжина поздовжніх та поперечних тріщин, п. м.	LQRP
	Залишкове пошкодження	Площа ділянок без тріщин, але з пошкодженими кутами, краями або з плямами асфальтобетону, %	RSFB

Дані вимірювань є ключовими для аналізу стану доріг. Програмне забезпечення розбиває розбиває досліджувану дорогу по кожній смузі руху на фрагменти завдовжки 100 метрів та розраховує фізичну зміну стану кожного фрагмента на основі зібраних даних.

Усі визначені показники стану оцінюються за шкалою від 1 до 5 для кожної смуги та наносяться на мапу за кольоровою шкалою, що забезпечує високу порівнюваність ділянок доріг між собою (рис. 4).

Велика Британія

Система управління дорожнім покриттям Великобританії (UKPMS) є національним стандартом для систем управління, оцінки стану місцевої дорожньої мережі та для планування інвестицій і обслуговування доріг з твердим покриттям, пішохідних і велосипедних доріжок на місцевих дорогах у Великобританії.

Важливо зазначити, що UKPMS це не система управління дорожнім покриттям, а специфікація для тих функцій, де потрібна національна послідовність і порівнюваність. Постачальникам комерційних систем рекомендується включати ці ключові аспекти UKPMS у свої системи, а централізована програма тестування забезпечує порівняння зі стандартом UKPMS.

Після початкового комплексного акредитаційного випробування постійна порівнюваність кожної акредитованої UKPMS системи контролюється за допомогою щорічного тесту перевірки працездатності (запровадженого восени 2005 року). Ця перевірка дає гарантію того, що системи

УКРМС продовжують відповідати вимогам УКРМС, включаючи поточний набір правил і національну звітність.

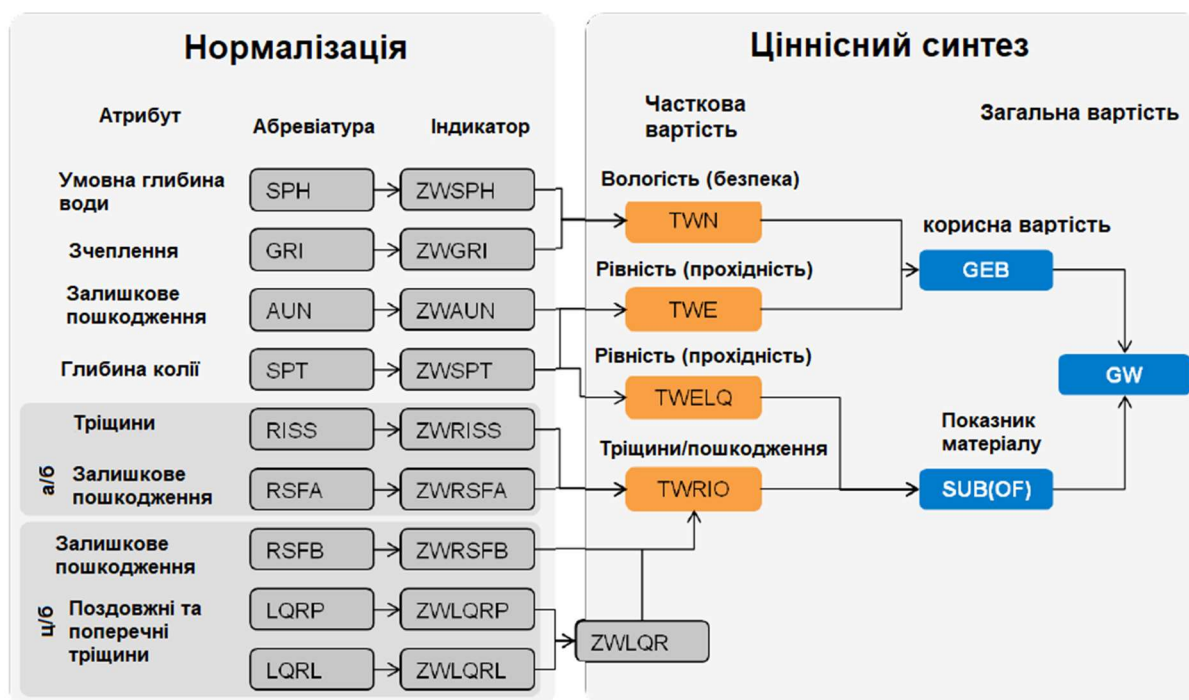


Рисунок 3 – Схема визначення загальних значень стану на основі даних, зібраних в процесі діагностики [2]

Figure 3 – The scheme for determining overall state values based on data collected during diagnostics [2]

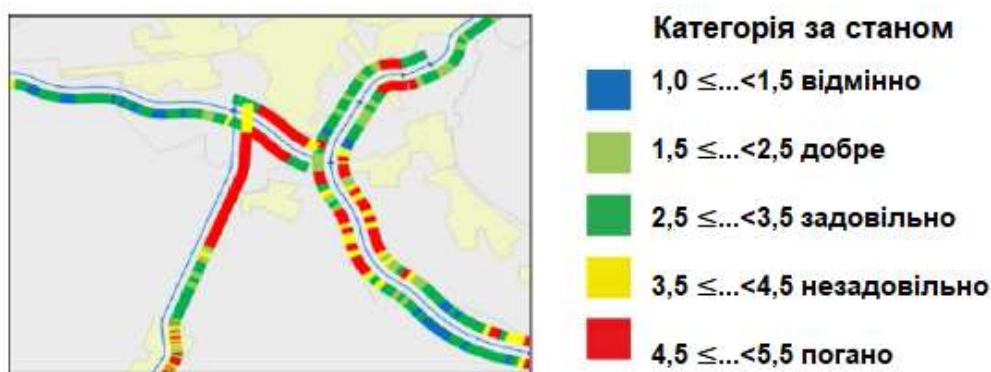


Рисунок 4 – Категорії показників стану дорожнього покриття та приклад візуалізації на карті © GeoBasis-DE / BKG2018 [2]

Figure 4 – Categories of road surface condition indicators and an example for a visualisation in a map. Adopted from (Stöckert and Schüller, 2018), © GeoBasis-DE / BKG2018 [2]

Важливо знати, що кожна з цих власних систем відрізняється та пропонує різну функціональність. Однією з сильних сторін підходу UKPMS є те, що місцеві органи влади можуть вільно вибирати систему управління, яка відповідає їхнім особливим потребам, усвідомлюючи, що ті сфери, де потрібна національна послідовність, охоплюються процесом UKPMS.

Центральне місце в налаштуванні UKPMS займає набір правил, параметрів і даних, який дозволяє користувачам застосовувати національні стандарти або місцеві правила в обробці своїх даних. Концепція національного стандартного набору правил означає, що будь-які зміни можна вводити та керувати ними контрольованим, передбачуваним способом без необхідності повторного повного акредитаційного тестування.

Набори правил випускаються, коли потрібні зміни – як частина річного циклу, щоб задовольнити потреби та часові рамки як для національної звітності, так і для щорічної перевірки стану. Поточний (останній) набір правил – RP10.01 використовується для звітування з 2011 року.

В якості вихідних даних для обробки система UKPMS використовує дані візуального та інструментального обстеження і користувач може обирати, яке обстеження використовувати для конкретних типів доріг. На місцевій мережі може бути достатньо тільки грубого візуального обстеження для складання планів експлуатаційного утримання. На обширних мережах державних доріг можуть знадобитися різні типи детальних обстежень. Такий ґрадований підхід забезпечує, що вимоги до даних та аналізу знаходяться в пропорції до вартості робіт.

Функціонування системи передбачає такі стадії:

1. На етапі інвентаризації здійснюється аналіз всієї мережі або окремих її ділянок для визначення пріоритетів та планування інвестицій на її утримання.

Ділянки доріг розділяються на довжини пошкоджень одного типу, відомі як "довжини дефектів". Вони визначаються як довжини елемента (дороги або смуги) в одному поперечному перерізі (рис. 5).

Довжини дефектів оцінюються на шкалі від 0 до 100, де

0 - "добре" або де подальше поліпшення не матиме значення, і

100 - "погано" або де подальше погіршення не матиме значення (рис. 6).

Оцінки дефектів об'єднуються в індекси стану (CI_s); ті, які використовуються в UKPMS, включають стан:

-поверхні покриття

-структури покриття

- кромки покриття (для асфальтобетонних доріг)

-швів (для цементобетонних доріг).

2. Вводяться алгоритми для розробки заходів для кожної довжини дефекту.

3. Формується оцінка витрат шляхом множення очікуваних обсягів робіт на одиничні ставки.

4. Формуються індекси пріоритету шляхом порівняння CI_s з пороговими значеннями, визначеними користувачем. Найвищий пріоритет надається тим індексам, які перевищують порогові значення найбільше.

5. Готується бюджет для експлуатаційних заходів в рамках бюджетних статей.

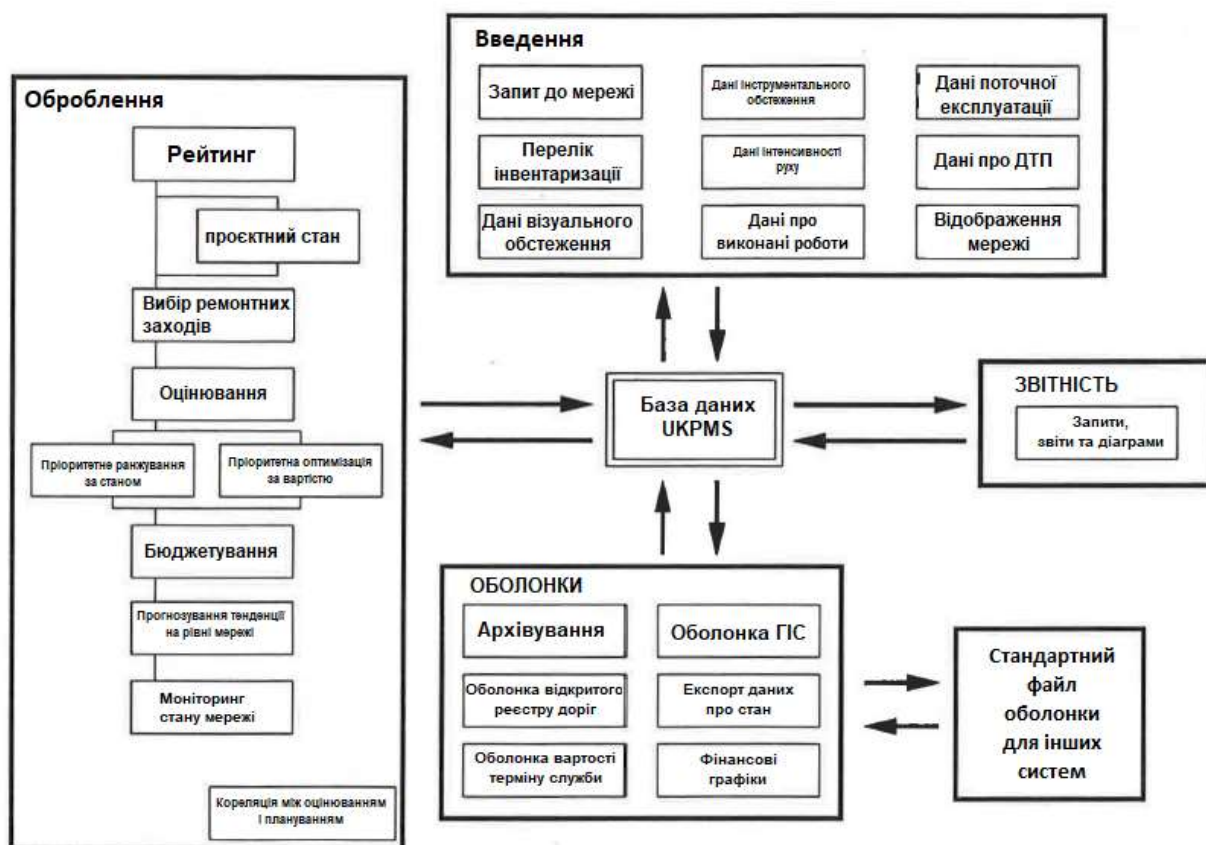


Рисунок 5 – Узагальнена схема UKPMS [11]

Figure 5 – Engineering view of UKPMS [11]

Система прогнозує стан покриття на тривалий період шляхом побудови графіку тенденції його погіршення з часом.

Для прогнозування цього стану система UKPMS використовує стандартні криві форми, які встановлюють відношення стану до часу і простягаються між (0,0) і (1,1) у двовимірному просторі (рис. 7).

Характер кривої залежить від 5 параметрів, що визначаються константами (a, b, c, d, k). Криві погіршення для дефекту на конкретній ділянці дороги визначаються користувачем і вказуються як серія дискретних точок; проміжні значення визначаються автоматично за допомогою лінійної інтерполяції. В іншому випадку для першої реалізації UKPMS пропонуються типові криві, враховуючи, що користувачі можуть не мати даних для їх побудови. В загальному випадку крива будується за наступною залежністю:

$$y = k \left[a + (b - a) \times f \left(\frac{x - c}{d - c} \right) \right], \quad (1)$$

де y – рівень дефектності,

x – час,
 $y = a$, якщо $x \leq c$,
 $y = b$, якщо $x \geq d$,
 $k = 1$ (при першому введенні)

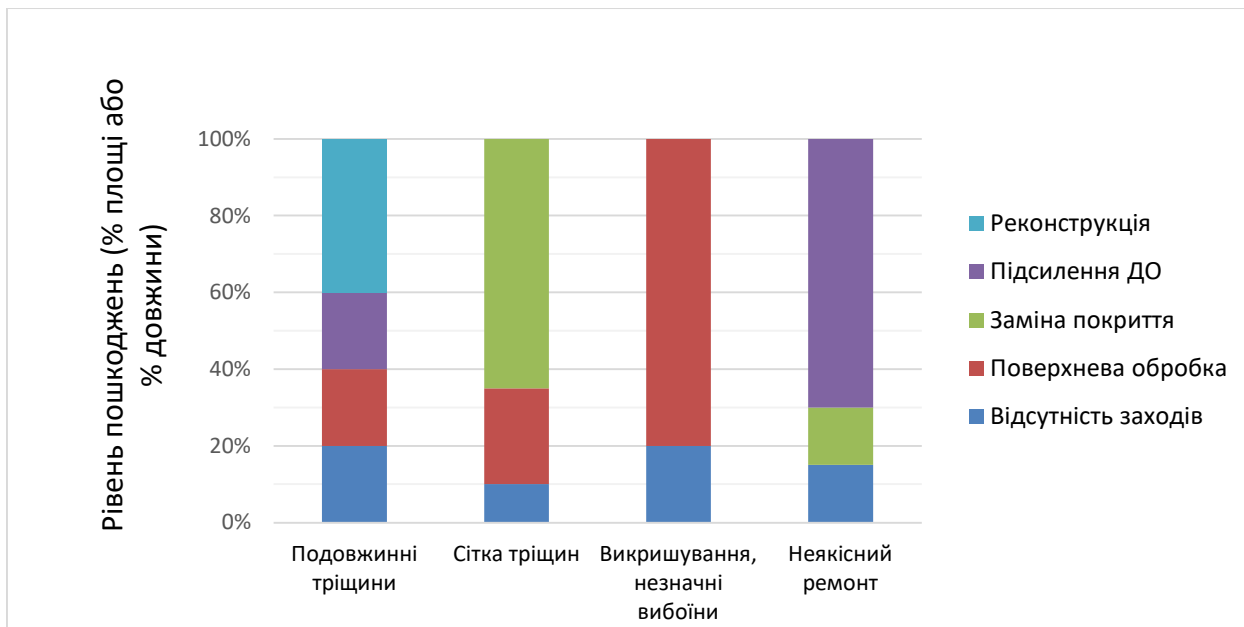


Рисунок 6 – Графік рекомендованих заходів при досягненні граничного рівня дефектів для нежорстких дорожніх одягів [11]

Figure 6 – Treatments required for levels of defects on flexible pavements [11]

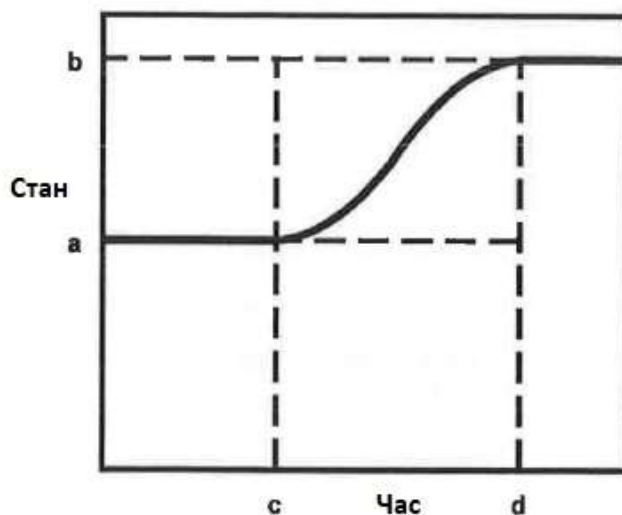


Рисунок 7 – Крива загальної тенденції погіршення стану покриття [11]

Figure 7 – Generalized deterioration relationship [11]

Оскільки бюджети на утримання зазвичай обмежені, потрібно обирати, які роботи з обслуговування слід виконати зараз, а які можна відкласти на інший рік чи більше. Поточні системи обслуговування віддають перевагу заходам виправлення на тих дорогах, які перебувають у найгіршому стані, але вони не допомагають вибору між затратними методами ремонту та вчасною профілактикою дефектів. Однак можна відзначити, що такий підхід неминуче призводить до наростання відставання від графіку робіт.

УКРMS може робити рекомендації з метою мінімізації майбутніх чи загальних витрат на ремонтні роботи або експлуатаційне утримання.

Розстановка пріоритетів ґрунтується на принципі мінімізації витрат у тривалій перспективі, що усуває проблему наростання відставання робіт. Це є основою пріоритетної оптимізації, яка виключає суттєві раптові капіталовкладення.

Підхід до встановлення пріоритетів у такий спосіб полягає в тому, щоб використовувати модель вартості на все життя для визначення чистої теперішньої вартості (NPV) кожної опції, порівнюючи витрати, пов'язані з проведенням обробки (варіант "щось робити"), з тими витратами, які пов'язані з тим, що нічого не робити або виконувати мінімально можливу обробку (варіант "нічого не робити" або "мінімум"). Пріоритет слід надавати опції, яка забезпечить найвищу чисту поточну вартість NPV.

При обмеженнях бюджету вибір схем та їх обробка відбувається з точки зору найвищого відношення NPV до вартості робіт.

Альтернативний метод пріоритетної оптимізації, запропонований для УКРMS, базується на методиці, розробленій під час проекту її розробки.

Він передбачає визначення пріоритетних рейтингів, які ґрунтуються лише на перевагах, отриманих протягом першого року експлуатації, та на річних витратах на перше і наступні обслуговування. Річні витрати - це "рівні річні витрати, які, підлягаючи зниженню та сумуючись впродовж терміну обслуговування, еквівалентні загальним витратам на обслуговування. У запропонованому спрощеному методі співвідношення NPV до витрат, яке зазвичай використовується для ранжування схем, замінюється економічним показником (EI). Це розраховується для кожної опції обслуговування, враховуючи витрати, що виникають від проведення обслуговування зараз, і ті, що виникають від відкладення обслуговування, наступним чином:

$$EI = 100 \times \frac{(T_{dm} - T_{ds})}{C}, \quad (2)$$

де T_{dm} – сума загальних річних відсоткових витрат, які виникають від відкладення обслуговування або виконання утримання (мінімального) обслуговування (випадок найменшого обслуговування);

T_{ds} – сума загальних річних відсоткових витрат, які виникають від проведення обробки зараз (випадок виконання)

C – різниця між вартістю робіт, необхідних до виконання і вартістю мінімально необхідних робіт.

Франція

Французька система управління дорожнім покриттям була повністю перепроєктована з 1988 року. Нова версія, GiRR, наразі включає три модулі: модуль оцінки надає огляд стану як структури, так

і поверхні дорожнього покриття; модуль аналізу стратегії моделює застосування політики збереження на кілька років; модуль програмування допомагає керівнику підготувати програму збереження, сумісну з його бюджетними і економічними обмеженнями. Ці модулі доповнюються експертною системою, яка кількісно характеризує найважливіші рішення щодо збереження. Три модулі отримують інформацію з бази даних VISAGE. За останні п'ять років ця база даних була вдосконалена так, що вона легко забезпечує повну сумісність між центральними та місцевими користувачами.

Спеціалізоване програмне забезпечення для управління, об'єднане в платформу GiRR, організоване у чотири основні модулі:

1. Модуль для оцінки функціональних якостей та структурного стану покриттів; цей інструмент використовується для оцінювання стану дороги.

Він виконує наступні функції:

Оцінка функціональних якостей: Даний інструмент використовується для оцінки функціональних якостей дорожнього покриття. Це охоплює різноманітні аспекти, такі як ефективність, безпека та зручність для користувачів.

Оцінка структурного стану покриття: Модуль дозволяє оцінити структурний стан дорожнього покриття, тобто його фізичну стійкість та структуру матеріалів.

Визначення потреб у збереженні покриття: Забезпечує аналіз необхідності проведення робіт із збереження дорожнього покриття, враховуючи як його функціональні якості, так і структурний стан.

Модуль оцінки є ключовою частиною системи та допомагає узагальнити інформацію щодо стану доріг та їх потреб у збереженні для прийняття обґрунтованих рішень. Він включає дві системи оцінювання: одну, придатну для основних мереж, іншу - для вторинних мереж. Обидві застосовують той самий загальний принцип розрахунку; змінюється лише вибір основних показників. Дороги поділяються на ділянки довжиною 200 метрів. На кожній ділянці розраховується структурна та поверхнева оцінка. Перша (структурна) відображає рівень деградації структури дорожнього покриття. Непрямо вона надає інформацію про здатність покриття витримувати комбіновані впливи транспорту та клімату. Аномально низьке значення вказує на те, що покриття не відповідає своїм реальним умовам служби. Друга (поверхнева) надає інформацію про якість обслуговування (безпека, комфорт), яку отримує користувач.

Процедура розрахунку оцінки завжди однакова: на першому етапі - визначити конвенційні роботи, які були б необхідні для переходу від спостережуваного структурного (відповідно, поверхневого) стану до "нового" стану, а потім оцінюється вартість цих робіт.

Застосування до мережі доріг високої інтенсивності.

Ці мережі (приблизно 115,000 км) складаються з нових або підсилених доріг, покриття яких найчастіше має основу, оброблену гідравлічними або бітумними в'язкими. Ці структури пошкоджуються в основному розвитком втомних тріщин, які в стадії розширеного пошкодження супроводжуються структурними деформаціями. Роботи зі структурним ремонтом ідентифікуються перетином, на сітках, що залежать від типу структури та трафіку чотирьох параметрів, визначених на місці спеціалізованими командами:

- обсяг виступаючих тріщин (тонкі та чіткі),
- обсяг поглиблених тріщин (розгалужені)
- обсяг деформацій від 15 до 30 мм;
- обсяг деформацій глибших 30 мм.

Загалом поздовжній профіль цих доріг не дуже деформований. Якість обслуговування, яке пропонується користувачеві, визначається скоріше станом верхнього шару, зокрема показником зчеплення. Цей параметр визначається комбінацією двох величин: шорсткість, визначена за методом піщаної плями, який характеризує макротекстуру покриття та "Поперечним коефіцієнтом тертя", який визначає його мікротекстуру.

В кінці розраховується глобальний рейтинг - це мінімум абсолютної структурної і поверхневої оцінки.

Застосування до мережі доріг низької інтенсивності.

Дороги, що складають таку мережу (250 тис. км), зазвичай, мають основи, неукріплені в'язучими і руйнуються природним процесом. Вода, що потрапляє в неукріплену основу крізь тріщини в покритті, внаслідок чого знижується несна здатність дорожнього одягу. Постійне деформування від транспортного руху збільшується, поки воно не стає неприйнятним. Оцінка структурного стану повинна відображати ступінь враження покриття тріщинами. Оцінювання може і повинно здійснюватись на більш конкретному та менш витратному дослідженні. Реєстрація пошкоджень спрощена, щоб можна було провести групами інженерів без застосування спеціалізованого обладнання.

Геометричні характеристики цих доріг не забезпечують високих розрахункових швидкостей, тому показник зчеплення в даному випадку не відіграє суттєвої ролі. З іншого боку, поєднання поздовжніх та поперечних деформацій може призводити до стану поверхні, який аномально обмежує умови руху та створює небезпеку. Саме це повинна відображати оцінка поверхні на цій мережі. Таким чином, вона поєднує поздовжню та поперечну рівності. Ці показники використовуються для кількісного визначення робіт з реконструкції, необхідних для відновлення поздовжньої рівності до значень стану нового покриття і визначення вартості цих робіт.

2. Модуль аналізу стратегії, який допомагає вибирати серед варіантів проведення заходів, аналізуючи їх вартість і їхні довгострокові ефекти на стан покриття. Він дає можливість користувачу симулювати довгостроковий ефект запланованої ним стратегії як з погляду передбачення бюджету, так і щодо впливу на стан доріг.

Загальний принцип

Цей модуль виконує ітеративний розрахунок (рис. 8). Кожна ітерація симулює еволюцію мережі впродовж одного року. Починаючи зі спостережуваного стану мережі, що представлений початковою гістограмою оцінок, модуль застосовує закони її еволюції. Одночасно він оцінює обсяг робіт, які викликали б застосування політики утримання і розраховує вплив цих робіт на загальний стан доріг. Використовуючи ці два підходи, він виводить стан мережі в кінці першого року. Розрахунок повторюється стільки разів, скільки років слід симулювати. Після завершення розрахунку можна відобразити еволюцію середніх оцінок стану, їх розподіл за класами і т. д., і порівняти ці еволюції із витратами на утримання. Таким чином, інженер отримує інформацію, необхідну для оцінки відносних переваг різних розглядуваних політик утримання і вибору оптимальної стратегії для конкретного контексту.

3. Модуль програмування, який допомагає технічним відділам перетворити основні варіанти утримання в програму конкретних заходів, локалізованих і визначених за типом і кількістю. Він покликаний перетворити ухвалені рішення щодо бюджету та вибору стратегії утримання в програму експлуатаційного обслуговування. В цьому модулі стратегії описуються набагато докладніше, ніж в модулі стратегічного аналізу. Вони представлені у вигляді рішень, що точно визначають роботи з

обслуговування, які можна застосовувати до покриття в залежності від його стану. Однією з відмінних особливостей цього модуля є те, що він пропонує бібліотеку, яка містить три "референсні" стратегії (високий, середній чи звичайний рівень обслуговування), які можна використовувати для створення великої кількості індивідуальних стратегій шляхом налаштування кількох параметрів (пороги дій, тип робіт і т. д.). Отримані таким чином роботи з обслуговування перелічені в таблиці. Розподіл за пріоритетами використовує пріоритетні критерії, визначені в межах політики обслуговування. Програму розділяється на три частини, які, наприклад, можуть бути результатом класифікації за пріоритетом, необов'язковими та відкладеними на наступний рік.

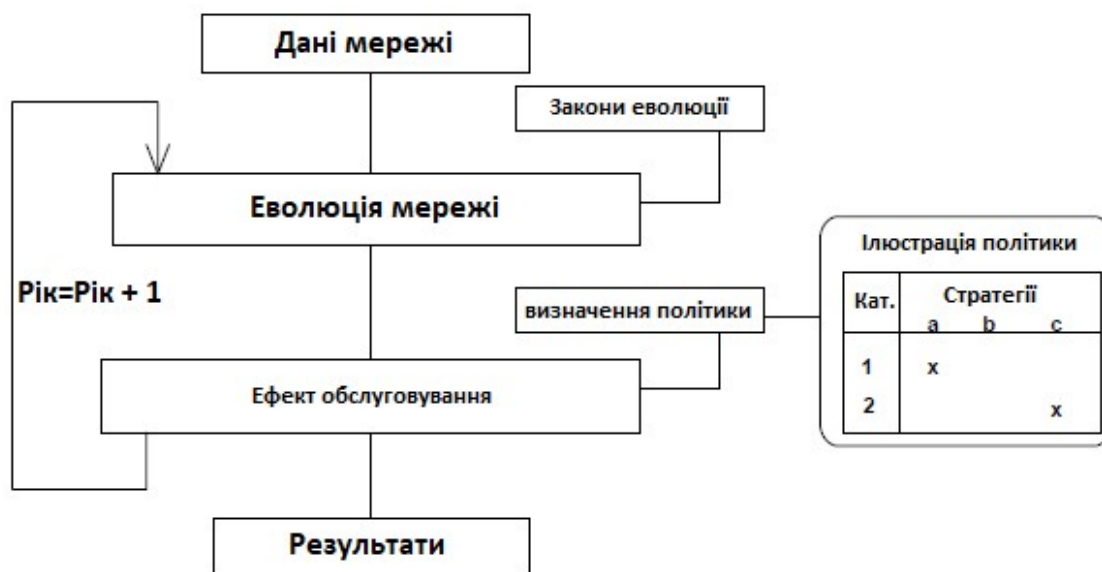


Рисунок 8 – Алгоритм симуляції процесу [5]

Figure 8 – Simulation process [5]

4. Експертний модуль, який допомагає модулю програмування вказати тип та розмірні параметри робіт зі збереження на ділянці, коли аналіз, виконаний модулем програмування, виявляється недостатнім.

У деяких випадках рішення, запропоноване програмним модулем, повинно бути уточнене. Це стосується зокрема випадків, коли цей модуль виявляє:

- неузгодженості в аналізованих даних; ця ситуація може виникнути, коли на покриття тимчасово нанесено тонке тимчасове або коли деяка інформація в базі даних не є актуальною;

- потребу у великих роботах для вирішення структурних проблем; в цьому випадку фінансові витрати, як правило, більш ніж виправдовують використання спеціальних додаткових досліджень. Ці дослідження розпочинаються перевіркою даних, що містяться в базі даних, для сумнівних ділянок. Потім проводяться додаткові дослідження: точна ідентифікація типу, віку та товщини покриття, вимірювання прогину, детальна реєстрація пошкоджень поверхні та стану дренажу, взяття проб матеріалів покриття, лабораторний аналіз тощо. Отримана таким чином інформація аналізується за допомогою експертного модуля ERASMUS, який слугує для уточнення діагнозу проблеми, вибору та ухвалення рішення з питань технічного обслуговування.

Система інформації. Всі системи допомоги в управлінні ґрунтуються на даних про дороги, вилучених з "інформаційної системи" для надання інженерам точної та актуальної інформації для прийняття рішень. Модулі GiRR використовують дані, вилучені з інформаційних систем, побудованих навколо бази даних VISAGE (рис. 9). Ця база даних призначена для створення інформаційних систем, які відповідають потребам різних операторів дорожніх мереж, зокрема сотень генеральних рад, які управляють 350 000 км департаментальних доріг у Франції. Департамент транспорту Міністерства розвитку також обрав її як основу інформаційної системи, використовуваної для національних доріг (SICRE), через її простоту та відкритість. 3.1 База даних VISAGE База даних VISAGE організована на 98 заголовках, кожен призначений для типу інформації (наприклад, "структура покриття" чи "прогин"). Кожен заголовок містить чотири поля, які використовуються для характеристики відповідної інформації чотирма атрибутами (наприклад, для заголовка "прогин" значення максимального прогину та кривизни для центральної лінії та країв). Система покоління дозволяє накопичувати дані, виміряні в одному й тому ж місці на послідовних датах. Вся інформація про дорогу, що міститься в заголовку, ідентифікується номером дороги, до якої вона прикріплена. База даних VISAGE доповнюється програмним забезпеченням для картографічного виведення, SACARTO, та програмним забезпеченням для побудови маршрутних діаграм, SILLAGE. Систему доповнює цифрова база зображень, VISIOROUTE, яку можна інтегрувати в географічну інформаційну систему MAPINFO.

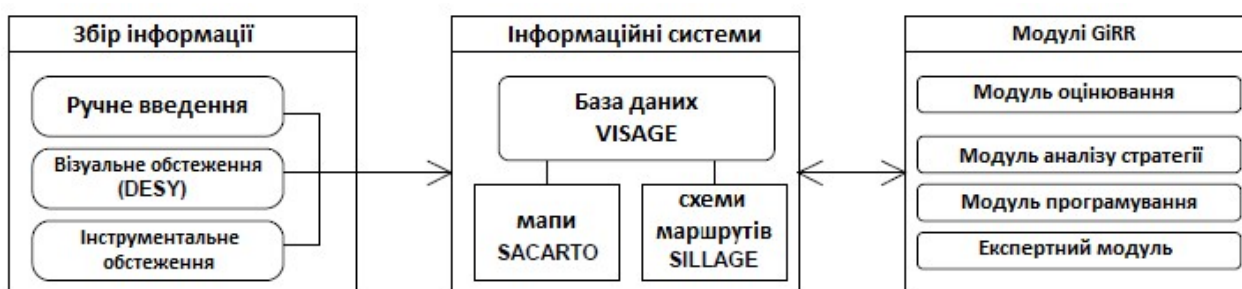
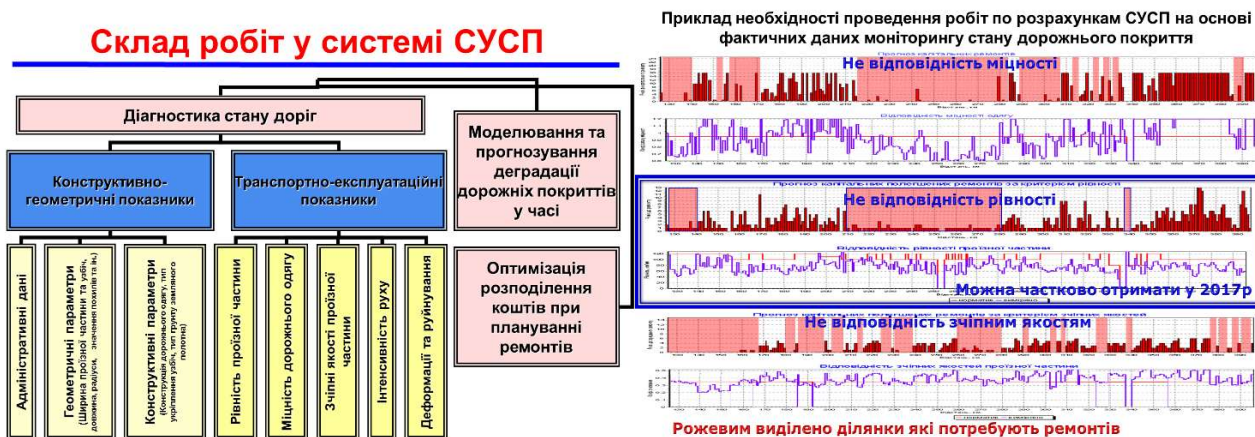


Рисунок 9 – Структура та середовище VISAGE та GiRR [5]
Figure 9 – Structure and environment of VISAGE and GiRR [5]

Україна

Транспортно-експлуатаційний стан переважної більшості автомобільних доріг України є критичним через порушення міжремонтних термінів дорожніх одягів. В таких умовах особливого значення набуває питання щодо визначення об'єктивного стану автомобільних доріг для подальшого планування та розподілу фінансових ресурсів на їх відновлення та розвиток [13]. В Україні для аналізу стану доріг та планування ремонтних робіт на автомобільних дорогах функціонує Система управління станом покриттів (СУСП), яка є аналогом європейських систем керування покриттям (PMS) або інших систем, таких як HDM-4 – систем управління дорожнім покриттям, які є основним інструментом ухвалення управлінських рішень в дорожньому господарстві європейських країн (рис. 10).



СУСП є основою для планування розподілу фінансових ресурсів, виключно на основі об’єктивних даних про стан доріг, споруд на них та відповідного техніко-економічного обґрунтування.

СУСП має можливість проводити наступні розрахунки за:

- критеріями ефективного розподілу фінансових ресурсів на ремонтні роботи;
- періодами прогнозування та термінами виконання ремонтних робіт;
- фізичною та математичною моделлю роботи конструкцій підсилення дорожніх одягів у процесі експлуатації;
- розподілом фінансових ресурсів за умов обмеженого фінансування.

Повнофункціональна та наповнена актуальними даними система СУСП дає можливість:

- оперативно надавати необхідну достовірну інформацію щодо стану мережі автомобільних доріг всім гілкам влади для прийняття об’єктивних управлінських рішень;
- сприяти підвищенню прозорості при формуванні потреби у фінансових ресурсах на розвиток та утримання автомобільних доріг;
- забезпечити ефективний розподіл фінансових ресурсів на потреби дорожнього господарства в умовах обмеженого фінансування;
- підвищити рівень та швидкість інформування учасників руху щодо ситуації на дорогах.

Впровадження СУСП на автомобільних дорогах дозволить у повному обсязі отримати обґрунтовану цільову Програму розвитку автомобільних доріг, як для окремих регіонів так і для всієї України.

Висновок: критичний аналіз існуючих систем управління станом покриття показав, що відповідно сучасного розвитку як технологій виконання робіт, так інформаційних технологій на нинішньому етапі виникає потреба у методологічній перебудові самого підходу до створення та наповнення інформаційно-аналітичних систем управління дорожнім господарством.

Перелік посилань

1. Eaton, Robert A., Gerard, Sidney, and Cate, D.A., Rating Unsurfaced Roads, A Field Manual for Measuring Maintenance Problems, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, U.S. Army Corps of Engineers, Hanover, New Hampshire, Special Report 87- 15 (August 1987, revised September 1988)

2. F. Farwick zum Hagen, F. Lau «Road Condition Monitoring and Assessment in Germany – How to Use the Data for Pavement Analysis» Roads and Airports Pavement Surface Characteristics. Proceedings of the 9th Symposium on Pavement Surface Characteristics (SURF 2022, 12 – 14 September 2022, Milan, Italy)
3. Garber Nicholas J., Hoel Lester A. Traffic and Highway Engineering. 4-th ed. — Gengage Learning Publ., 2009. — 1249 p.
4. The 40-Year Evolution of Pavement Management Systems. URL: <https://www.agileassets.com/blog/the-40-year-evolution-of-pavement-management-systems/>
5. Lepert P, Joubert P (1998) Recent developments in the pavement management system in France. Intl Conference on Managing Pavement, Durban, pp. 184–96
6. NIJU, A. (2006). "GIS Based Pavement Maintenance & Management System (GPMMS)". M.Sc Thesis., Department of Civil Engineering, National Institute of Technology Calicut, Calicut, Kerala, 2006.92p.
7. N. Ismail, A. Ismail, and R. Atiq, “An overview of expert systems in pavement management,” European Journal of Scientific Research, vol. 30, no. 1, pp. 99–111, 2009
8. Pavement Management Systems - Past, Present, and Future, Public Roads: 80 Years Old, But The Best Is Yet to Come. URL: <https://highways.dot.gov/public-roads/julyaugust-1998/pavement-management-systems-past-present-and-future-public-roads-80>
9. Peterson, D. E. 1977. Good Roads Cost Less. Re- 22. search and Development Unit, Utah Department of Transportation
10. Road and Transportation Research Association (FGSV), 2018. Additional Technical Terms of Contract and Guidelines for Road Monitoring and Assessment (ZTV ZEB-StB), FGSV 489, Cologne.
11. Stephen J. Phillips, “Development of United Kingdom Pavement Management System”, The Proceedings of the Third International Conference on Managing Pavements, Transport Research Board, Washington, USA, 1994
12. The IBM 650 "Magnetic Drum Data Processing Machine": The First Mass-Produced Computer. URL: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=3657>
13. Дмитриченко М.Ф., Харченко А.М., Мороз Т.М. Система діагностування стану автомобільних доріг як засіб стратегічного планування експлуатаційного утримання. Erbe der europäischen Wissenschaft / Heritage of European science, Germany. 2021. 224-258.
14. Система управління станом покриття. «Укрдіпродор» URL: <https://www.facebook.com/Ukrdiprodor/posts/pfbid0qRWG5AD4sMy65ydJPFxrwDsynzavvXJJEFRvG7h8vq4TFB3BohJYex8WSMT2dvbl>

DEVELOPMENT AND EFFICIENCY OF PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS (PMS)

Taras Moroz, head of the testing center, State Enterprise "Road Scientific and Technical Center" graduate student, National Transport University, graduate student of the department of transport construction and property management, e-mail: carmen_17@ukr.net, +380961867092, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omelianovycha-Pavlenka, 1, room 206, <https://orcid.org/0000-0001-6730-3004>

Abstract. The article discusses an important aspect of modern transportation management – the development of Pavement Management Systems (PMS). It analyzes the evolution of PMS, its key components, their role in ensuring the quality and durability of road pavement, as well as the latest trends and innovations in this field. The perspectives of PMS development in the future and their impact on ensuring proper maintenance of the road network are highlighted.

Scientific novelty and practical significance. A reasonable and detailed analysis of the history of the development of road surface management systems (PMS) was performed. The main aspect of scientific novelty

is a thorough study of the evolution of these systems at the international level, which allows identifying key trends and periods of their development. The international experience of countries using these systems was studied.

Key words: Pavement management systems, highway operations, road network, Structural and functional prediction of roads, pavement condition

References

1. Eaton, Robert A., Gerard, Sidney, and Cate, D.A., Rating Unsurfaced Roads, A Field Manual for Measuring Maintenance Problems, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, U.S. Army Corps of Engineers, Hanover, New Hampshire, Special Report 87- 15 (August 1987, revised September 1988)
2. F. Farwick zum Hagen, F. Lau «Road Condition Monitoring and Assessment in Germany – How to Use the Data for Pavement Analysis» Roads and Airports Pavement Surface Characteristics. Proceedings of the 9th Symposium on Pavement Surface Characteristics (SURF 2022, 12 – 14 September 2022, Milan, Italy)
3. Garber Nicholas J., Hoel Lester A. Traffic and Highway Engineering. 4-th ed. — Gengage Learning Publ., 2009. — 1249 p.
4. The 40-Year Evolution of Pavement Management Systems. URL: <https://www.agileassets.com/blog/the-40-year-evolution-of-pavement-management-systems/>
5. Lepert P, Joubert P (1998) Recent developments in the pavement management system in France. Intl Conference on Managing Pavement, Durban, pp. 184–96
6. NIJU, A. (2006). "GIS Based Pavement Maintenance & Management System (GPMMS)". M.Sc Thesis., Department of Civil Engineering, National Institute of Technology Calicut, Calicut, Kerala, 2006.92p.
7. N. Ismail, A. Ismail, and R. Atiq, “An overview of expert systems in pavement management,” European Journal of Scientific Research, vol. 30, no. 1, pp. 99–111, 2009
8. Pavement Management Systems - Past, Present, and Future, Public Roads: 80 Years Old, But The Best Is Yet to Come. URL: <https://highways.dot.gov/public-roads/julyaugust-1998/pavement-management-systems-past-present-and-future-public-roads-80>
9. Peterson, D. E. 1977. Good Roads Cost Less. Re- 22. search and Development Unit, Utah Department of Transportation
10. Road and Transportation Research Association (FGSV), 2018. Additional Technical Terms of Contract and Guidelines for Road Monitoring and Assessment (ZTV ZEB-StB), FGSV 489, Cologne.
11. Stephen J. Phillips, “Development of United Kingdom Pavement Management System”, The Proceedings of the Third International Conference on Managing Pavements, Transport Research Board, Washington, USA, 1994
12. The IBM 650 "Magnetic Drum Data Processing Machine": The First Mass-Produced Computer. URL: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=3657>
13. Dmytrychenko M.F., Kharchenko A.M., Moroz T.M. Systema diahnostuvannia stanu avtomobilnykh dorih yak zasib stratehichnoho planuvannia ekspluatatsiinoho utrymanna. [*The system for diagnosing the condition of highways as a means of strategic planning of operational maintenance*]. Erbe der europäischen Wissenschaft / Heritage of European science, Germany. 2021. 224-258. [in Ukrainian].
14. Systema upravlinnia stanom pokryttia. «Ukrdiprodor» URL: <https://www.facebook.com/Ukrdiprodor/posts/pfbid0qRWG5AD4sMy65ydJPFFxrwDsynzavvXJJEFRvG7h8vq4TFB3BohJYex8WSMT2dvbl>. [in Ukrainian].

Дата надходження до редакції 17.11.2023.